

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. April 2004 (01.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/028219 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H05G 2/00,  
H01J 49/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010164

(22) Internationales Anmeldedatum:  
12. September 2003 (12.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 42 622.8 13. September 2002 (13.09.2002) DE

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): FAUBEL, Manfred  
[DE/DE]; Steinbreite 32, 37124 Rosdorf (DE). CHAR-  
VAT, Ales [DE/DE]; Ginsterweg 10, 37077 Göttingen  
(DE). TROE, Jürgen [DE/DE]; Rohnsweg 22, 37085  
Göttingen (DE).

(74) Anwalt: HERTZ, Oliver; v. Bezold & Sozien,  
Akademiestrasse 7, 80799 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:

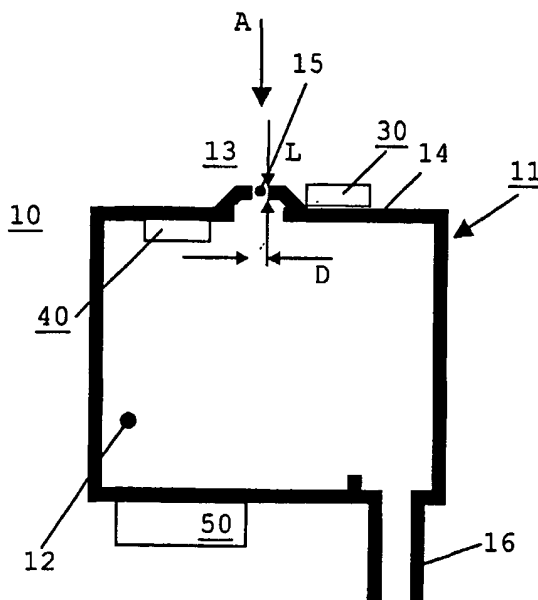
— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR  
FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN E.V.  
[DE/DE]; Hofgartenstrasse 8, 80539 München (DE).  
GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN  
[DE/DE]; Gosslerstrasse 5-7, 37073 Göttingen (DE).

(54) Title: LIQUID TRAP FOR RECEIVING LIQUIDS IN A VACUUM DEVICE

(54) Bezeichnung: FLÜSSIGKEITSFALLE ZUM AUFFANGEN VON FLÜSSIGKEITEN IN EINER VAKUUMEINRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a liquid trap (10), es-  
pecially for receiving liquids in a vacuum device, said liquid  
trap comprising a container (11) provided with an inner cham-  
ber (12) and an inlet element (13) via which the liquid can en-  
ter the inner chamber (12) of the container (11) from an outer  
region (20) of the liquid trap (10). Said inlet element (13) is  
formed by an inlet channel (15) in a wall (14) of the container  
(11), the inlet channel (15) having an inner diameter (D) where  
 $D < 2 \text{ mm}$  and a length (L) where  $L < 4 \text{ mm}$ .

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Flüssigkeitsfalle  
(10), insbesondere zum Auffangen von Flüssigkeiten in einer  
Vakuumeinrichtung beschrieben mit einem Fallenbehälter  
(11), der einen Innenraum (12) und ein Eintrittselement  
(13) aufweist, durch das Flüssigkeit aus einem Aussenraum  
(20) der Flüssigkeitsfalle (10) in den Innenraum (12) des  
Fallenbehälters (11) eintreten kann, wobei das Eintrittselement  
(13) durch einen Eintrittskanal (15) in einer Wand (14) des  
Fallenbehälters (11) gebildet wird und der Eintrittskanal (15)  
einen inneren Durchmesser (D) mit  $D < 2 \text{ mm}$  und eine innere  
Länge (L) mit  $L < 4 \text{ mm}$  besitzt.

WO 2004/028219 A1

Flüssigkeitsfalle zum Auffangen von Flüssigkeiten  
in einer Vakuumeinrichtung

Die Erfindung betrifft Flüssigkeitsfallen gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, Vakuumeinrichtungen, die mit derartigen Flüssigkeitsfallen ausgestattet sind, und Verfahren zum Auffangen von Flüssigkeiten oder gefrorenen Partikeln unter Vakuumbedingungen.

Es ist bekannt, dass bei einer Reihe von Anwendungen in die Vakuumkammer einer Vakuumeinrichtung für mess- oder verfahrenstechnische Zwecke ein kontinuierlicher oder tropfenförmiger Strahl einer flüssigen Substanz eingeführt wird. Beispielsweise wird zur Massenspektrometrie empfindlicher Moleküle eine Lösung der Moleküle in Wasser in die Vakuumkammer des Massenspektrometers eingeführt und dort einer Laser-gestützten Desorption des Lösungsmittels unterzogen, um dann allein die gelösten Moleküle massenspektrometrisch zu analysieren. Ein weiteres Beispiel stellen Röntgen- oder UV-Quellen dar, bei denen unter Vakuumbedingungen durch hochenergetische Bestrahlung (z. B. Laser-Bestrahlung) ein flüssiges Targetmaterial in einen Plasmazustand versetzt wird, in dem materialspezifisch Röntgenfluoreszenzstrahlung emittiert wird. (siehe z. B. EP 186 491, US 5 459 771, L. Rymell et al. in "Rev. Sci. Instrum." Band 66, 1995, Seite 4916-4920, WO 97/40650, US 6 377 651, US 6 324 255, L. Malmqvist et al. in "Appl. Phys. Lett." Band 68, 1996, Seite 2627-2629, DE 100 47 779).

Ein generelles Problem bei der Einführung einer Flüssigkeit in ein Vakuum besteht in der Flüchtigkeit der Flüssigkeit oder etwaiger Reaktionsprodukte. Typischerweise besitzen die verwendeten Flüssigkeiten einen Dampfdruck von einigen Millibar bei Temperaturen oberhalb des jeweiligen Tripelpunktes. Der Dampf der Flüssigkeit kann das Vakuum entscheidend verschlech-

tern oder zu störenden Niederschlägen in der Vakuumeinrichtung führen. Im einzelnen ergeben sich die folgenden drei Probleme.

Erstens müssen bisher zur Kompensation der Erzeugung störenden Dampfes besonders leistungsfähige Hochvakuumumpen eingesetzt werden. Selbst bei einem geringen Durchmesser eines Flüssigkeitsstrahls von z. B. 10  $\mu\text{m}$  bis 30  $\mu\text{m}$  werden Pumpen mit Sauggeschwindigkeiten der Größenordnung 1000  $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$  benötigt.

Zweitens sind zum Auffangen von Flüssigkeiten Sammeleinrichtungen (oder: Flüssigkeitsfallen) erforderlich. Eine herkömmliche Flüssigkeitsfalle 10' ist beispielhaft schematisch in Figur 5 gezeigt (siehe zum Beispiel US 5 577 091, US 5 459 771, S. Düsterer et al. in „Spektrum der Wissenschaft“, September 2001, S. 78 ff.). Die Flüssigkeitsfalle 10' umfasst einen von der Vakuumkammer getrennten, zusätzlichen Fallenbehälter 11' mit einem Innenraum 12', in den die Flüssigkeit, die aufgefangen werden soll, durch ein Eintrittselement 13' geleitet wird. Das Eintrittselement 13' besteht aus einem Trichter 13a' und einer Kapillare 13b', die mit einer bestimmten Länge an einer Wand 14' in den Fallenbehälter 11' mündet.

Herkömmliche Flüssigkeitsfallen mit einem kapillar- oder rohrförmigen Eintrittselement besitzen zahlreiche Nachteile. Die Kapillare bildet zwar ein Strömungshindernis für den Dampf der aufgefangenen Flüssigkeit im Fallenbehälter. Dennoch kommt es zu einem Rückstrom des Dampfes durch das Eintrittselement zurück in die Vakuumkammer. Dabei kann beim Übergang vom Eintrittselement in den Außenraum eine Überschall-Expansion des ausströmenden Dampfes auftreten. Durch diesen Gegenstrom kommt es zu Turbulenzen, die den eintreffenden Flüssigkeitsstrahl stören und ggf. sogar ein Auffangen weiterer Flüssigkeit verhindern. Des weiteren kommt es zu einer Behinderung der ein-

fallenden Flüssigkeit im Eintrittselement. Schließlich wird durch den rückströmenden Dampf das Vakuum in der Vakuumkammer verschlechtert. Um diesen Nachteilen zu begegnen, wurde bisher vorgeschlagen, die Flüssigkeitsfalle mit einer Kühleinrichtung auf der Basis von flüssigem Stickstoff auszustatten, mit der die aufgefangene Flüssigkeit gefroren wird (siehe M. Faubel et al. in "Z. Phys. D", Band 10, 1988, Seite 269; H. Morgner et al. in "J. Electron Spectroscopy Related Phenomena", Bd. 61, 1993, Seite 183; L. Malmqvist et al. in "Appl. Phys. Lett." Band 68, 1996, Seite 2627-2629). Eine Alternative stellt der Anschluss einer weiteren Vakuumpumpe an die Kühlfalle dar (siehe S. Düsterer et al. in "Appl. Phys. B", Bd. 73, 2001, S. 693 - 698). Beide Lösungen besitzen jedoch den Nachteil eines vergrößerten apparativen Aufwandes. Des Weiteren wird bei diesen Verfahren zwar die Gasbelastung der Vakuumkammer durch eine Dampfdruckströmung aus der Falle bedeutend verringert. Dennoch kann eine Destabilisierung des eintreffenden Flüssigkeitsstrahls durch den austretenden Gasstrom auftreten. Die Destabilisierung kann lediglich durch eine kühlungsbedingte Verminderung des Dampfdrucks erreicht werden. Dies führt bei volatilen Flüssigkeiten zwangsläufig zur Eisbildung in der Falle und ggf. zur Verstopfung des Eintrittselements.

Die Vorteile eines Flüssigkeitsrecyclings, wie sie z. B. von H. Morgner et al. (siehe oben) demonstriert wurden, waren auf bestimmte Flüssigkeiten, wie z. B. auf Formamid und andere Flüssigkeiten mit sehr niedrigem Dampfdruck beschränkt. Eine Anwendung auf Wasser oder Strahlen verflüssigter Edelgase war mit diesen Techniken ausgeschlossen.

Das bisher verwendete Eintrittselement besitzt des weiteren den Nachteil einer erhöhten mechanischen Empfindlichkeit. Bei

einer geringen Belastung, z. B. bei einer Belüftung der Vakuumeinrichtung kommt es zu einer Dejustierung der Kapillare.

Drittens stellen die Flüssigkeiten in der Vakuumkammer unter Hochvakuum in der Regel unterkühlte Flüssigkeiten dar, die leicht bei Kontakt mit Oberflächen gefrieren. Es besteht die Gefahr, dass das Eintrittselement der Kühlfalle durch gefrorene Niederschläge geschlossen wird. Um diesem Problem zu begegnen, wird das Eintrittselement bisher laufend während des Auffangens auf einige hundert Grad geheizt (siehe z. B. US 5 577 091). Dabei ist jedoch von Nachteil, dass durch das Heizen neuer Dampf erzeugt wird, der das Vakuum verschlechtert. Außerdem entstehen Temperaturgradienten, die für die Vakuumeinrichtung und die flüssigen Proben schädlich sein können.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte Flüssigkeitsfalle zum Auffangen von Flüssigkeiten in einer Vakuumeinrichtung bereitzustellen, mit der die Nachteile herkömmlicher Flüssigkeitsfallen überwunden werden. Die Flüssigkeitsfalle soll insbesondere einen vereinfachten Aufbau besitzen, den Betrieb der Vakuumeinrichtung vereinfachen, die beschriebenen Probleme durch rückströmenden Dampf vermeiden und zum Auffangen von Flüssigkeiten sogar mit relativ hohem Dampfdruck geeignet sein. Die Flüssigkeitsfalle soll insbesondere zum Auffangen von Flüssigkeiten mit einem Dampfdruck von mehreren 100 mbar, wie z. B. von flüssigen Edelgasen Ar, Kr oder Xe geeignet sein. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren zum Auffangen von Flüssigkeiten in einer Vakuumeinrichtung bereitzustellen, mit dem die Nachteile der herkömmlichen Techniken überwunden werden. Schließlich ist es auch eine Aufgabe der Erfindung, verbesserte Anwendungen der Flüssigkeitsfalle bereitzustellen.

Diese Aufgaben werden durch Flüssigkeitsfallen, Vakuumeinrichtungen und Verfahren mit den Merkmalen gemäß den Patentansprüchen 1, 12 und 16 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Eine Grundidee der Erfindung ist es, eine Flüssigkeitsfalle bereitzustellen, die einen Fallenbehälter mit einem Innenraum und einem Eintrittselement aufweist, durch das Flüssigkeit oder gefrorene Partikel aus einem evakuierten Außenraum der Flüssigkeitsfalle in den Fallenbehälter eintreten kann und Dampf aus dem Fallenbehälter in den Außenraum strömen können, wobei das Eintrittselement abweichend von herkömmlichen Techniken nicht durch ein aufgesetztes Strömungshindernis z. B. in Form einer Kapillare, sondern als Eintrittskanal in einer Wand des Fallenbehälters gebildet wird, der vorbestimmte geometrische Dimensionen (insbesondere Durchmesser, Länge) besitzt, die in Bezug auf die Wechselwirkung der eintretenden Flüssigkeit mit austretendem Dampf derart optimiert sind, dass der austretende (rückströmende) Dampfstrom bis zu Atmosphärendruck wirksam unterdrückt werden kann. Der Eintrittskanal bildet eine Öffnung (Apertur), an die auf der einen Wandseite der Innenraum und auf der entgegengesetzten Wandseite der Außenraum unmittelbar angrenzen.

Erfindungsgemäß gelten für den inneren Durchmesser  $D$  und die innere Länge  $L$  des Eintrittskanals Dimensionen gemäß  $D < 2 \text{ mm}$  und  $L < 4 \text{ mm}$ . Das Auffangen der Flüssigkeit durch die Apertur in der Wand des Fallenbehälters besitzt eine Reihe von Vorteilen, die sowohl die Gestaltung der Falle als auch deren Funktion betreffen. Erstens wird der Aufbau der Flüssigkeitsfalle erheblich vereinfacht. Das Eintrittselement kann mit geringen Ausmaßen an einer gewünschten Position in der Wand des Fallen-

behälters angebracht werden. Zweitens wird die Funktion der Falle verbessert. Die Erfinder haben festgestellt, dass eine Apertur als Eintrittselement überraschenderweise strömungstechnisch einem kanalförmigen Eintrittselement weit überlegen ist. Im Bereich der Öffnung der Wand des Fallenbehälters wird eine Behinderung von einfallender Flüssigkeit vermieden. Der Weg der Flüssigkeit durch das Eintrittselement wird verkürzt. Die Niederschlags- und Verstopfungsgefahr wird vermindert. Außerdem kann der Durchmesser der Öffnung vermindert werden, was sich vorteilhaft auf eine Verminderung des Rückstroms auswirkt. Die Belastung des Vakuums in der Vakuumeinrichtungen kann vermindert werden.

Die genannte Länge (L) ist insbesondere kleiner als oder gleich einer vorbestimmten Staulänge ( $L^*$ ), oberhalb derer ausströmender Dampf im Eintrittskanal einen Gegendruck bilden würde, der ein gegenüber dem Eintrittskanal berührungsloses Eintreten der Flüssigkeit behindern würde. Der Durchmesser (Querschnittsdimension), ist insbesondere kleiner als oder gleich einem vorbestimmten Staudurchmesser ( $D^*$ ), oberhalb dessen ausströmender Dampf ein Eintreten der Flüssigkeit in den Eintrittskanal behindern würde. Die Erfinder haben festgestellt, dass durch eine Verminderung des Durchmessers des Eintrittselements mehrere Vorteile gleichzeitig erzielt werden können. Ersten wird die Menge des ausströmenden Dampfes vermindert. Zweitens kann die oben genannte Überschall-Expansion des ausströmenden Dampfes vermindert oder ausgeschlossen werden. Die Flüssigkeit kann behinderungsfrei eintreten. Schließlich kann das Loch im Fallenbehälter durch die eintretende Flüssigkeit dynamisch verschlossen werden. Durch eine Optimierung der Eigenschaften der Flüssigkeit, die einen kontinuierlichen Strahl oder eine Tropfenfolge bildet, und des Durchmes-

sers des Eintrittskanals wird während des Auffangens der Freiraum für einen Rückstrom vermindert.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besitzt das Eintrittselement der Flüssigkeitsfalle eine konisch geformte Außenwand, die sich verjüngend von der Wand des Fallenbehälters in einen Außenraum, z. B. eine Vakuumkammer ragt. Die konische Form besitzt den besonderen Vorteil, dass eine Reflexion der auf die Flüssigkeitsfalle zuströmenden Gasatmosphäre vermindert wird und damit die Stabilität des Betriebs beim Auffangen insbesondere von Flüssigkeiten mit hohen Dampfdrücken (z. B. Edelgasen) verbessert wird. Ein weiterer Vorteil besteht in der Erhöhung der Stabilität des Eintrittselements durch den Konusaufbau.

Besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, wenn das Eintrittselement eine geneigte Außenwand besitzt. Die Außenwand bildet relativ zur Ausrichtung des Eintrittskanals einen Winkel, der auch als Außen- oder Neigungswinkel bezeichnet wird. Der Neigungswinkel ist allgemein größer als  $0^\circ$  und kleiner als  $90^\circ$  gewählt. Vorzugsweise liegt der Neigungswinkel im Bereich von  $30^\circ$  bis  $70^\circ$ , insbesondere von  $45^\circ$  bis  $70^\circ$ .

Der Durchmesser (D) besitzt vorzugsweise einen Wert im Bereich von  $1\text{ }\mu\text{m}$  bis  $1\text{ mm}$ , insbesondere von  $5\text{ }\mu\text{m}$  bis  $100\text{ }\mu\text{m}$ . Vorteilhafterweise können für eine Vielzahl der in der Praxis interessierenden Flüssigkeiten ähnliche Durchmesser des Eintrittskanals gewählt werden.

Strömungsdynamische Überlegungen der Erfinder haben ergeben, dass sich Vorteile für ein störungsfreies Auffangen der Flüssigkeit ergeben können, wenn die Länge (L) kleiner als der doppelte Durchmesser (D) und größer als  $1\text{ }\mu\text{m}$  ist.



Gemäß weiteren vorteilhaften Ausführungsformen der Erfindung ist die Flüssigkeitsfalle mit einer Heizeinrichtung, mit der das Eintrittselement temperierbar ist, einer ersten Stelleinrichtung, mit der der Durchmesser des Eintrittskanals einstellbar ist, und/oder einer zweiten Stelleinrichtung ausgestattet, mit der die Position der Flüssigkeitsfalle im Außenraum einstellbar ist. Die Heizeinrichtung kann Vorteile bei Beginn des Fallenbetriebs besitzen, falls die Apertur des Eintrittskanals noch nicht exakt auf die Bewegungsrichtung der eintretenden Flüssigkeit ausgerichtet ist. Mit der Heizeinrichtung kann ein Ausfrieren von Flüssigkeiten bei Kontakt mit der Fallenoberfläche vermieden werden. Wenn noch keine oder wenig Flüssigkeit in der Falle aufgefangen wurde, kommt es noch nicht zu einem Rückstrom, der ein Kontakt der Flüssigkeit mit der Wand des Eintrittskanals verhindert. Ein Frieren der Flüssigkeit an der Wand wird mit der Heizeinrichtung unterbunden. Die Heizeinrichtung kann jedoch kleiner als die herkömmlichen Kapillarheizer dimensioniert sein und nach einer bestimmten Anlaufzeit abgeschaltet werden. Mit der ersten Stelleinrichtung und einer verstellbaren Öffnung im Fallenbehälter kann die Falle vorteilhafterweise an Flüssigkeiten mit verschiedenen strömungstechnischen Eigenschaften angepasst werden. Die Bereitstellung der zweiten Stelleinrichtung kann vorteilhaft sein, um die Flüssigkeitsfalle unter den konkreten Bedingungen in einer Vakuumeinrichtung optimal zu positionieren. Auf die zweite Stelleinrichtung kann in Abhängigkeit von der konkreten Anwendung verzichtet werden, wenn eine Verstellbarkeit der Flüssigkeitsfalle nicht erforderlich ist und/oder eine Flüssigkeitsquelle in der Vakuumeinrichtung mit einer eigenen Stelleinrichtung ausgestattet ist.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Vakuumeinrichtung (z. B. Röntgen- oder UV-Quelle, massenspektrometrische Untersuchungseinrichtung oder eine Einrichtung zur molekularen Destillation) mit einer Vakuumkammer, einer Flüssigkeitsquelle, mit der Flüssigkeit in die Vakuumkammer förderbar ist, und der erfindungsgemäßen Flüssigkeitsfalle. Die Vakuumeinrichtung hat den Vorteil, dass an die Vakuumpumpen geringere Anforderungen gestellt werden können als bei herkömmlichen Vakuumeinrichtungen, in denen Flüssigkeiten auftreten.

Die Vakuumeinrichtung kann einen Modulaufbau besitzen, bei dem die Flüssigkeitsfalle vorteilhafterweise als Modul in eine Wand der Vakuumkammer einsetzbar und austauschbar ist. Ein Teil der Wand der Vakuumkammer kann insbesondere die Wand des Fallenbehälters bilden und mit dem Eintrittselement ausgestattet sein.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Vakuumeinrichtung mit einer Justiereinrichtung ausgestattet, mit der die Flüssigkeitsquelle und die Flüssigkeitsfalle relativ zueinander ausgerichtet werden können. Die Justiereinrichtung umfasst beispielsweise eine optische Justiereinrichtung mit einem Laser und einem Streulichtdetektor.

Ein Gegenstand der Erfindung ist auch ein Verfahren zum Auffangen (oder: Abscheiden, Entfernen) einer Flüssigkeit in einer Vakuumeinrichtung unter Verwendung der erfindungsgemäßen Flüssigkeitsfalle. Es werden vorzugsweise Tropfen, Strahlen oder gefrorene Partikel mit Durchmessern im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  und Dampfdrucken im Bereich von 10 mbar bis 1000 mbar aufgefangen. Verfahrensbezogen besitzt die Erfindung insbesondere den Vorteil, dass zum Auffangen keine besonderen Vakuum- oder Kühleinrichtungen betätigt oder gesteuert werden

müssen. Die Flüssigkeitsfalle kann bei Raumtemperatur kühlmittelfrei und ohne eine zusätzliche Kühleinrichtung betrieben werden.

Die Erfindung besitzt die folgenden weiteren Vorteile. Es können verschiedenartige Flüssigkeiten (z. B. Wasser, organische Lösungsmittel, anorganische Flüssigkeiten) nicht nur mit einem niedrigen Dampfdruck, sondern auch mit einem erhöhten Dampfdruck, z. B. im Bereich von 10 bis 100 mbar oder darüber kühlmittelfrei aufgefangen werden. Das Auffangen ist sogar mit Argon oder Xenon möglich, die in Vakuumeinrichtungen wegen des hohen Dampfdruckes schwierig handhabbare Flüssigkeiten sind. Des weiteren wird die Wiedergewinnung der Flüssigkeit (recycling) erheblich vereinfacht.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden im Folgenden unter Bezug auf die beigelegten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 und 2: schematische Schnittansichten verschiedener Ausführungsformen erfindungsgemäßer Flüssigkeitsfallen,

Fig. 3: eine schematische Schnittansicht einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vakuumeinrichtung,

Fig. 4: eine Teilansicht einer erfindungsgemäßen Vakuumeinrichtung, und

Fig. 5: eine schematische Schnittansicht einer herkömmlichen Flüssigkeitsfalle.

Die Erfindung wird im folgenden unter Bezug auf Ausführungsbeispiele und strömungstheoretischen Modellüberlegungen beschrieben. Es wird betont, dass die Umsetzung der Erfindung nicht auf die Dimensionierung der Flüssigkeitsfalle entsprechend den theoretischen Überlegungen oder auf die gezeigten Ausführungsbeispiele beschränkt ist. Vielmehr ist es dem Fachmann möglich, die Gestaltung einer Flüssigkeitsfalle z. B. durch einfache Versuche an die jeweilige Anwendung anzupassen, wobei insbesondere die Auswahl, Zusammensetzung oder geometrischen Eigenschaften der Flüssigkeit und/oder die geometrischen Dimensionen des Eintrittskanals variiert werden können. Des Weiteren wird betont, dass die erfindungsgemäße Flüssigkeitsfalle auch zum Auffangen von festen Partikeln, z. B. Eiskristallen geeignet ist. Die Beschreibung der Ausführungsformen gilt für das Auffangen gefrorener Flüssigkeitspartikel entsprechend.

Eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Flüssigkeitsfalle 10 ist in Figur 1 schematisch illustriert. Die Flüssigkeitsfalle 10 umfasst einen Fallenbehälter 11 mit einem Innenraum 12, der von der Umgebung (Außenraum) durch eine Wand 14 abgegrenzt ist. Die Umgebung ist zumindest an einer Seite des Fallenbehälters angrenzend ein evakuierter Raum, z. B. die Vakuumkammer einer Vakuumeinrichtung (siehe unten). Der Fallenbehälter 11 besitzt eine Form und Größe, die je nach Anwendung gewählt sind, z. B. die Form eines zylindrischen Bechers oder einer Flasche mit einem Innenraumvolumen von z. B. 50 bis 1000 cm<sup>3</sup>. Die Wand 14 besteht beispielsweise aus Stahl oder einem anderen, für die jeweilige Anwendung inertem Material, mit einer Dicke von z. B. 1 bis 10 mm. An einer Unterseite des Fallenbehälters kann ein Ablauf 16 vorgesehen sein, durch den Flüssigkeit, ggf. nach Erreichen einer Mindestmenge auf dem Behälterboden und Übertreten einer Barriere vor dem Ablauf 16

in ein angeschlossenes Auffangsystem abfließen kann. Der Ablauf 16 stellt jedoch kein zwingendes Merkmal der Erfindung dar.

Der Fallenbehälter kann mit einer Temperierungseinrichtung (nicht dargestellt) ausgestattet sein, insbesondere um den Druck des Dampfes in der Falle einzustellen. Die Temperierungseinrichtung kann eine Kühleinrichtung oder eine Heizeinrichtung umfassen. Die Heizeinrichtung kann insbesondere beim Auffangen gefrorener Flüssigkeitspartikel vorgesehen sein, um die Flüssigkeit zu schmelzen. Damit kann ein Herauswachsen von Flüssigkeitskristallen, z. B. Eisnadeln aus der Falle in die Vakuumkammer verhindert werden. Die Bereitstellung der Temperierungseinrichtung ist jedoch für einen stabilen Abscheidebetrieb insbesondere bei Flüssigkeiten wie Wasser oder Ethanol nicht zwingend erforderlich. Die Temperierungseinrichtung ist vorzugsweise beim Auffangen von verflüssigten Gasen vorgesehen.

Des Weiteren kann die Flüssigkeitsfalle gemäß einer abgewandelten Ausführungsform mit einer Recycling-Einrichtung verbunden sein, die eine kontinuierliche Rückgewinnung der aufgefangenen Flüssigkeit während des Betriebes der Vakuumeinrichtung erlaubt. Bei herkömmlichen Fallen ist eine kontinuierliche Rückgewinnung nicht möglich, da diese mit einer Belüftung oder einer Vollabschaltung der Vakuumeinrichtung verbunden wäre. Dies würde zu mehrstündigen Standzeiten führen. Dieser Nachteil kann mit der erfindungsgemäßen Flüssigkeitsfalle überwunden werden, da selbst die Ausbildung von Atmosphärendruck während des Auffangens im Fallenbehälter 11 keine Einschränkung für das Auffangen der Flüssigkeit oder die Qualität des Vakuums in der angrenzenden Vakuumkammer darstellt.

Das erfindungsgemäß vorgesehene Eintrittselement 13 umfasst eine durchgehende Öffnung (Loch), die an der Oberseite des Fallenbehälters 11 in der Wand 14 gebildet ist. Durch die Öffnung wird ein Eintrittskanal 15 geformt. Der Eintrittskanal 15 erstreckt sich mit einem bestimmten Durchmesser  $D$  über eine bestimmte Länge  $L$  und wird beidseitig der Wand unmittelbar durch den Innenraum 11 und den Außenraum begrenzt. Die Wand 14 kann an der Oberseite des Fallenbehälters 11 einstückig mit der übrigen Wand oder auch als eigenständiges Wandelement gebildet sein, das mit der übrigen Wand vakuumdicht verbunden ist. Das Wandelement kann zum Beispiel aus einem Konusaufbau bestehen (siehe Figur 2).

Die Länge des Eintrittskanals 15 ist gleich der Dicke der an das Loch angrenzenden Wand, insbesondere der Stirnseite der angrenzenden Wand. Die Wand kann sich hin zum Eintrittskanal 15 verjüngen (siehe Figur 2).

Die Komponenten 30, 40 und 50 sind fakultativ einzeln oder in Kombination vorgesehen. Das Eintrittselement 13 kann mit der Heizeinrichtung 30 temperiert werden. Es ist beispielsweise eine Widerstandsheizung zur zumindest zeitweiligen Einstellung einer Temperatur oberhalb der Verdampfungstemperatur der aufzufangenden Flüssigkeit unter Vakuumbedingungen vorgesehen. Des weiteren kann, wenn die Wand einen Lamellenaufbau besitzt, der Querschnitt des Eintrittskanals 15 mit der ersten Stelleinrichtung 40 verändert werden. Wenn die Flüssigkeitsfalle in einer Vakuumkammer positioniert werden soll, so kann dies mit der zweiten Stelleinrichtung 50 erfolgen. Die ersten und zweiten Stelleinrichtungen 40, 50 können beispielsweise durch piezoelektrische Antriebe gebildet werden.

Das Auffangen einer Flüssigkeit (Tropfen oder Strahl) mit der Flüssigkeitsfalle 10, die in einer Vakuumeinrichtung mit einer Vakuumkammer angeordnet ist, umfasst die folgenden Schritte. Die Flüssigkeit bildet allgemein einen Strahl oder eine Tropfenfolge mit einem Radius im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 0.5 mm. Zunächst ist ggf. vorgesehen, dass die Flüssigkeitsfalle 10 relativ zur Bewegungsbahn der Flüssigkeit in der Vakuumkammer positioniert wird. Die Bewegungsbahn kann beispielsweise eine vertikale Fallstrecke (siehe Pfeil A), eine ballistische Bahn oder ein horizontal ausgerichtete Bahn sein. Die Positionierung erfolgt vorzugsweise unter Verwendung einer Justiereinrichtung (siehe Figur 3) und kann bei leichter Aufheizung des Eintrittskanals der Flüssigkeitsfalle erfolgen. Letzteres verhindert ein Einfrieren der Flüssigkeit bei Kontakt mit Oberflächen der Flüssigkeitsfalle. Anschließend beginnt der bestimmungsgemäße Betrieb der Vakuumeinrichtung. Die Flüssigkeit tritt durch den Eintrittskanal 15 aus der Vakuumkammer in den Fallenbehälter 11 ein. Im Zeitverlauf sammelt sich Dampf der Flüssigkeit im Fallenbehälter 11. Der durch das Druckgefälle in den Außenraum zurückströmende Dampf trifft im Eintrittskanal 15 auf die Flüssigkeit. Der Eintrittskanal 15 kann erfindungsgemäß jedoch so bemessen werden, dass der Dampf die Flüssigkeit nicht zurücktreibt oder an die Wand drückt.

Die Länge L und der Durchmesser D werden vorzugsweise entsprechend den folgenden Prinzipien gewählt. Der Eintrittskanal 15 wird von außen nach innen von der Flüssigkeit, die aufgefangen werden soll, und von innen nach außen durch den Rückstrom des Dampfes der aufgefangenen Flüssigkeit durchsetzt.

Die Flüssigkeit erfährt im Eintrittskanal eine Reibung gegenüber dem Rückstrom und wird dadurch abgebremst. Wenn die Länge des Eintrittskanals 15 eine bestimmte Länge (die so genannte

Staulänge) überschreitet, ist ein Abbremsen auf Null theoretisch möglich. Die Staulänge kann mit dem folgenden Konzept abgeschätzt werden.

Die Abbremskraft  $F$ , die eine Kugel (z. B. ein Flüssigkeitstropfen) mit dem Radius  $R$  in einer entgegengesetzten laminaren Strömung erfährt, ergibt sich aus der Newton'schen Formel (1):

$$F = 0.5 \cdot c \cdot \rho_{\text{gas}} \cdot (\pi \cdot R^2) \cdot v_{\text{gas}}^2 \quad (1)$$

Für den Fall einer Kugel, die sich in einer Kontinuumsströmung bewegt, nimmt die Konstante  $c$  den Wert  $c \approx 2$  an. Die Größe  $\rho_{\text{gas}}$  ist die Gasdichte, die aus dem Dampfdruck innerhalb der Falle abgeschätzt werden kann. Die Gasgeschwindigkeit  $v_{\text{gas}}$  kann aus der Energie und der Molekülmasse des Dampfes abgeschätzt werden.

Die Staulänge  $L^*$  ergibt sich gemäß Gleichung (2) aus der Geschwindigkeit der einfallenden Flüssigkeit  $v_{\text{liq}}$  und der negativen Beschleunigung durch die Kraft  $F$  ( $\rho_{\text{liq}}$  ist die Dichte der Flüssigkeit):

$$L^* = v_{\text{liq}}^2 \cdot (4/3) \cdot c^{-1} \cdot \rho_{\text{gas}}^{-1} \cdot v_{\text{gas}}^{-2} \cdot \rho_{\text{liq}} \cdot R \quad (2)$$

Entsprechend kann die Staulänge  $L^*$  aus den Eigenschaften der aufzufangenden Flüssigkeit und Verfahrensbedingungen ermittelt werden. Die Staulänge  $L^*$  liegt für typische Mikroflüssigkeiten (insbesondere  $R \approx 5 \dots 50 \mu\text{m}$ ) beispielsweise im Bereich von  $20 \mu\text{m}$  bis  $2 \text{ mm}$  bei Gasdrucken zwischen  $1 \text{ kPa}$  und  $100 \text{ kPa}$ . Gemäß Gleichung (2) hängt die Staulänge direkt von der Tropfengröße  $R$  ab. Das Aufstauen der Tropfen durch eine Gasrückströmung aus der Flüssigkeitsfalle stellt in Vakuumanlagen insbesondere bei kleinen Radien der Tropfen oder des Flüssigkeits-



strahls mit  $R < 50 \mu\text{m}$  ein Problem dar. Dies wird durch die erfindungsgemäße Dimensionierung des Eintrittskanals vermieden.

Der in die Vakuumkammer rückströmende Dampf erfährt beim Verlassen aus dem Eintrittskanals 15 eine Expansion, die als eine radiale isotrope Expansion auf der Symmetrieachse des Eintrittskanals 15 beschrieben werden kann. Je geringer die Dichte des Dampfes beim Verlassen aus dem Eintrittskanals 15 ist, desto geringer ist die bei der Expansion in Turbulenzen umgewandelte kinetische Energie. Die Dichte des Dampfes vermindert sich mit dem Quadrat des Durchmessers des Eintrittskanals.

Wenn der Durchmesser des Eintrittskanals 15 einen bestimmten Wert (den so genannten Staudurchmesser  $D^*$ ) überschreitet, ist es einerseits schwierig, das Vakuum aufrechtzuerhalten. Andererseits ist eine Störung des Eintritts der Flüssigkeit möglich. Der Staudurchmesser kann durch Vergleich der kinetischen Energie der eintreffenden Flüssigkeit und der bei der Expansion umgewandelten Energie abgeschätzt werden.

Die Erfinder haben den Staudurchmesser gemäß Gleichung (3) abgeschätzt:

$$D^* = 2 \cdot v_{\text{liq}}^2 \cdot \rho_{\text{liq}} \cdot R \cdot \rho_{\text{gas}}^{-1} \cdot v_{\text{gas}}^{-2} \quad (3)$$

Wiederum zeigt sich, dass der Staudurchmesser  $D^*$  aus den Verfahrensbedingungen, z. B. dem Radius der Flüssigkeitstropfen oder des Flüssigkeitsstrahls ermittelt werden kann. Der Staudurchmesser  $D^*$  liegt beispielsweise im Bereich von  $1 \mu\text{m}$  bis  $1 \text{ mm}$ , vorzugsweise im Bereich von  $5 \mu\text{m}$  bis  $100 \mu\text{m}$ . Aus den Gleichungen (2) und (3) ergibt sich der Zusammenhang  $D^* = 5.3 L^*$ . Der Staudurchmesser  $D^*$  kann insbesondere kleiner als der 20-fache Radius der einfallenden Flüssigkeitstropfen oder eines

Strahls sein. Die Erfinder haben festgestellt, dass die Staulänge  $L^*$  vorzugsweise kleiner als der doppelte Staudurchmesser  $D^*$  ist.

Ausgehend von  $D^*$  gemäß Gleichung (3), der den theoretischen Staudurchmesser darstellt, wird der reale Durchmesser des Eintrittskanals vorzugsweise größer als der Radius  $R$  des Flüssigkeitsstrahls (oder der Tropfen) und kleiner als der Staudurchmesser ( $R < D < D^*$ ) und die Länge  $L$  des Eintrittskanals größer als  $1\text{ }\mu\text{m}$  und kleiner als der doppelte Durchmesser ( $1\text{ }\mu\text{m} < L < 2D$ ) gewählt. Diese Bedingungen werden vorzugsweise mit  $D^* < 1\text{ mm}$  und  $1\text{ }\mu\text{m} < R < 500\text{ }\mu\text{m}$  gewählt.

Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass beim Auffangen von Ethanol-Tropfen mit einer Geschwindigkeit von  $100\text{ m/s}$  und einem Durchmesser von  $10\text{ }\mu\text{m}$  mit einer Falle mit den Kanaldimensionen  $L = 100\text{ }\mu\text{m}$  und  $D = 100\text{ }\mu\text{m}$  das Hochvakuum in der Vakuumkammer vollständig aufrecht erhalten werden kann. Für Xenon- oder Wasserdampf haben sich kleinere Kanaldimensionen im Bereich von einigen  $10\text{ }\mu\text{m}$  als vorteilhaft erwiesen.

Ein modular verwendbares Eintrittselement 13 ist beispielhaft in Figur 2 gezeigt. Die Wand 14 ist konusförmig mit einer hin zum Eintrittskanal 15 sich verringernden Dicke gebildet. Eine derartige Geometrie mit einem Außenwinkel von weniger als  $70^\circ$ , vorzugsweise jedoch größer als  $45^\circ$  trägt zur Stabilität des Fallenbetriebs bei, da Wandreflexionen von der Gasatmosphäre verhindert werden, die die einströmende Flüssigkeit umgibt. Der Eintrittskanal 15 besitzt einen Durchmesser von rd.  $100\text{ }\mu\text{m}$  und eine Länge von rd.  $100\text{ }\mu\text{m}$ . Der Durchmesser des sich zunächst unterhalb des Eintrittskanals 15 anschließenden Innenraumes 12 beträgt z. B.  $10\text{ mm}$ . Der Innenwinkel des Eintrittselements 13 ist so gewählt, dass die Länge  $L$  des Eintrittska-

nals 15 geringer als der doppelte Durchmesser des Eintrittskanals 13 ist.

Alternativ kann die obere Wand 14 der Flüssigkeitsfalle 10 durch eine dünne Platte oder Folie mit dem Eintrittselement 13 gebildet werden. Die Platte oder Folie besitzt die Dicke gleich der gewünschten Länge des Eintrittskanals.

Das Eintrittselement gemäß Figur 2 kann vorteilhafterweise als ein von der Flüssigkeitsfalle trennbares Bauteil bereitgestellt werden. Das Eintrittselement 13 ist bspw. auf eine Flüssigkeitsfalle aufschraubbar. Damit kann eine gegebene Flüssigkeitsfalle je nach der verwendeten Flüssigkeit mit einem angepassten, austauschbaren Eintrittselement ausgestattet werden.

Die erfindungsgemäße Kombination der Flüssigkeitsfalle mit einer Vakuumeinrichtung ist in Figur 3 am Beispiel einer Plasma-basierten Röntgenquelle 60 schematisch illustriert.

Die Röntgenquelle 60 umfasst eine Target- oder Flüssigkeitsquelle 61, die mit einer Vakuumkammer 62 verbunden ist und als Sammeleinrichtung eine erfindungsgemäße Flüssigkeitsfalle 63. Die Flüssigkeitsfalle 63 ist vollständig oder (wie dargestellt) nur teilweise in der Vakuumkammer 62 angeordnet, so dass zumindest das Eintrittselement 13 in die Vakuumkammer ragt. Das Bezugszeichen 64 bezieht sich auf eine Bestrahlungseinrichtung. Die Flüssigkeitsquelle 61 umfasst ein Reservoir für das Targetmaterial, eine Zufuhrleitung und eine Düse (oder: eine Tröpfchenkanone). Mit einer (nicht dargestellten) Betätigungseinrichtung, die bspw. eine Pumpe oder eine piezoelektrische Fördereinrichtung umfasst, wird flüssiges Targetmaterial zur Düse oder Tröpfchenkanone geführt und von dieser

in Form eines Flüssigkeitsstrahls oder in Form von Tropfen 65 abgegeben und in die Vakuumkammer 62 injiziert.

Die Bestrahlungseinrichtung 64 umfasst eine Strahlungsquelle (bspw. ein Laser oder eine andere Quelle hochenergetischer Strahlung, wie z. B. eine Quelle für Röntgenstrahlung oder Partikelstrahlung) und eine Bestrahlungsoptik, mit der Strahlung von der Strahlungsquelle auf das Targetmaterial 65 fokussierbar sind. Alternativ kann eine Ionen- oder Elektronenquelle in der Kammer 62 vorgesehen sein.

Die Vakuumkammer 62 umfasst einen Rezipienten mit einer Kammerwand 67, die mindestens ein erstes Fenster, durch das das Targetmaterial 65 bestrahlbar ist, und mindestens ein zweites Fenster aufweist, durch das die generierte Röntgenstrahlung austritt. Das zweite Fenster aus einem für weiche Röntgenstrahlung transparenten Fenstermaterial, z. B. aus Beryllium ist optional vorgesehen, um die Röntgenstrahlung aus der Vakuumkammer 62 für eine bestimmte Anwendung auszukoppeln. Die Vakuumkammer 62 ist ferner mit einer Vakuumpumpe 66 verbunden, mit der in der Kammer 62 ein Unterdruck erzeugt wird. Dieser Unterdruck liegt vorzugsweise unterhalb von  $10^{-5}$  mbar. Wenn das zweite Fenster vorgesehen ist, kann sich eine evakuierbare Bearbeitungskammer anschließen, die mit einer weiteren Vakuumeinrichtung verbunden ist (nicht dargestellt). In der Bearbeitungskammer kann die Röntgenstrahlung zur Materialbearbeitung auf ein Objekt abgebildet werden. Es ist bspw. eine Röntgenlithographieeinrichtung vorgesehen, mit der die Oberfläche eines Halbleitersubstrats bestrahlt wird.

Zur Generation von Röntgenstrahlung werden mit der Flüssigkeitsquelle 61 ein Strahl oder Tropfen des Targetmaterials 65 erzeugt. Der Durchmesser des Strahls oder der Tropfen beträgt

bspw. 3  $\mu\text{m}$  bis 0.1 mm. Die Strecke, die das Targetmaterial 65 im Vakuum zurücklegt, liegt typischerweise im mm- bis cm-Bereich, z. B. 1 mm bis 10 cm, insbesondere 2 mm bis 1 cm. Es wird bspw. eine Tropfenfolge von  $10^2$  bis  $10^5$  Tropfen je Sekunde generiert. Es sind alternativ geringere Tropfenfrequenzen einstellbar. Die Tropfen 65 werden mit der Bestrahlungseinrichtung in an sich bekannter Weise bestrahlt. Die Bestrahlung erfolgt fokussiert mit einer derartigen Intensität, dass das Targetmaterial in einen Plasmazustand überführt wird, in dem die Emission weicher Röntgenstrahlung erfolgt.

Die Düse der Flüssigkeitsquelle 61 und/oder die Falle 63 sind vorzugsweise verstellbar angeordnet, um die gegenseitige Ausrichtung zu optimieren. Bei der dargestellten Ausführungsform ist die Falle in die Wand 67 des Rezipienten allerdings eingesetzt (siehe Figur 4). Alternativ kann die Falle im Rezipienten angeordnet werden.

Zur gegenseitigen Ausrichtung der Flüssigkeitsquelle 61 und der Falle 63 kann eine Justiereinrichtung 68 vorgesehen sein. Die Justiereinrichtung 68 basiert beispielsweise auf einer Streulichtmessung, indem ein Laserstrahl von der Düse auf das Eintrittselement 13 gerichtet und das Streulicht am Eintrittselement 13 detektiert wird. Bei Lichteinfall durch den Eintrittskanal ist das Streulicht geringer als beim Auftreffen auf eine Kante des Eintrittselements 13. Alternativ kann die Justiereinrichtung 68 auf einem mechanisch-geometrischen Messprinzip basieren.

Figur 4 zeigt einen Teil einer Vakuumeinrichtung, bei der die Flüssigkeitsfalle als Modul in eine Wand 67 der Vakuumkammer 61 eingesetzt ist. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird die Wand der Flüssigkeitsfalle 63 durch die Wand 14 des

Flüssigkeitsbehälters 11, einen Teil der Rezipientenwand 67 und das Eintrittselement 13 gebildet. Das Eintrittselement 13 ist beispielsweise entsprechend Figur 2 aufgebaut. Der Flüssigkeitsbehälter 11 ist über eine Schraubverbindung 68 vakuumdicht mit der Rezipientenwand 67 verbunden. Alternativ kann der Flüssigkeitsbehälter 11 mit dem Eintrittselement 13 eine Flasche bilden, die in einer entsprechenden Fassung in der Rezipientenwand vakuumdicht fixierbar ist.

Die Gestaltung gemäß Figur 4 besitzt den besonderen Vorteil, dass der Flüssigkeitsbehälter 11 sogar unter Vakuumbedingungen ausgetauscht werden kann. Bei kurzzeitiger Abnahme des Flüssigkeitsbehälters 11 wird wegen des geringen Durchmessers des Eintrittskanals das Vakuum in der Vakuumkammer 61 selbst bei Atmosphärendruck im Flüssigkeitsbehälter 11 kaum beeinträchtigt. Die erfindungsgemäße Flüssigkeitsfalle ermöglicht vorteilhafterweise eine kontinuierliche Rückgewinnung der Flüssigkeit aus der Vakuumkammer. Bei herkömmlichen Systemen, z. B. Kryofallen kann die Flüssigkeit nicht ohne eine Unterbrechung des Vakuumbetriebs zurückgewonnen werden. Mehrstündige Standzeiten, wie sie bei herkömmlichen Vakuumanlagen auftreten, können mit der erfindungsgemäßen Flüssigkeitsfalle vermieden werden.

**PATENTANSPRÜCHE**

1. Flüssigkeitsfalle (10), insbesondere zum Auffangen von Flüssigkeiten in einer Vakuumeinrichtung, mit einem Fallenbehälter (11), der einen Innenraum (12) und ein Eintrittselement (13) aufweist, durch das Flüssigkeit aus einem Außenraum (20) der Flüssigkeitsfalle (10) in den Innenraum (12) des Fallenbehälters (11) eintreten kann,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
das Eintrittselement (13) durch einen Eintrittskanal (15) in einer Wand (14) des Fallenbehälters (11) gebildet wird, wobei der Eintrittskanal (15) einen inneren Durchmesser (D) mit  $D < 2 \text{ mm}$  und eine innere Länge (L) mit  $L < 4 \text{ mm}$  besitzt.
2. Flüssigkeitsfalle nach Anspruch 1, bei der das Eintrittselement (13) eine konisch geformte Außenwand besitzt, die sich verjüngend von der Wand (14) in den Außenraum ragt.
3. Flüssigkeitsfalle nach Anspruch 2, bei der die Außenwand gegenüber der Wand (14) des Fallenbehälters (11) einen Winkel kleiner als  $70^\circ$  bildet.
4. Flüssigkeitsfalle nach Anspruch 2 oder 3, bei der die Außenwand gegenüber der Wand (14) des Fallenbehälters (11) einen Winkel größer als  $45^\circ$  bildet.
5. Flüssigkeitsfalle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Durchmesser (D) im Bereich von  $1 \text{ }\mu\text{m}$  bis  $1 \text{ mm}$  gewählt ist.
6. Flüssigkeitsfalle nach Anspruch 5, bei der der Durchmesser (D) im Bereich von  $5 \text{ }\mu\text{m}$  bis  $100 \text{ }\mu\text{m}$  gewählt ist.

7. Flüssigkeitsfalle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Länge (L) des Eintrittskanals (15) kleiner als der doppelte Durchmesser (D) ist.
8. Flüssigkeitsfalle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine Heizeinrichtung (30) vorgesehen ist, mit der das Eintrittselement (13) temperierbar ist.
9. Flüssigkeitsfalle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine erste Stelleinrichtung (40) vorgesehen ist, mit der der Durchmesser (D) des Eintrittskanals (15) einstellbar ist.
10. Flüssigkeitsfalle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine zweite Stelleinrichtung (50) vorgesehen ist, mit der die Position der Flüssigkeitsfalle im Außenraum justierbar ist.
11. Flüssigkeitsfalle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der das Eintrittselement (13) ein austauschbares Bauteil darstellt.
12. Vakuumeinrichtung (60) mit einer
- einer Vakuumkammer (61),
  - einer Flüssigkeitsquelle (62), mit der Flüssigkeit in die Vakuumkammer (61) förderbar ist, und
  - einer Flüssigkeitsfalle (10, 63) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 10.
13. Vakuumeinrichtung (60) nach Anspruch 12, bei der die Flüssigkeitsfalle als Modul in eine Wand der Vakuumkammer einsetzbar ist.



14. Vakuumeinrichtung (60) nach Anspruch 13 oder 14, die eine Plasma-Röntgenquelle, eine massenspektrometrische Untersuchungseinrichtung oder eine Einrichtung zur molekularen Destillation umfasst.

15. Vakuumeinrichtung (60) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, die eine Justiereinrichtung (68) aufweist, mit der die Flüssigkeitsquelle (61) und die Flüssigkeitsfalle (62) relativ zueinander ausgerichtet werden können.

16. Verfahren zum Auffangen einer Flüssigkeit in Tropfen-, Strahl- oder Partikelform mit einem vorbestimmten Radius (R) in einer Vakuumeinrichtung (60) mit einer Vakuumkammer (61) und einer Flüssigkeitsfalle (10), die einen Fallenbehälter (11) mit einem Innenraum (12) und ein Eintrittselement (13) aufweist, durch das Flüssigkeit aus der Vakuumkammer (61) in den Innenraum (12) des Fallenbehälters (11) eintritt und Dampf der Flüssigkeit aus dem Fallenbehälter (11) in den Außenraum strömt,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

Flüssigkeiten mit einem Radius (R) im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  und Dampfdrucken im Bereich von 1 kPa bis 100 kPa aufgefangen werden, und die Flüssigkeit durch einen Eintrittskanal (15) bewegt wird, der durch das Eintrittselement (13) gebildet ist und einen inneren Durchmesser (D) mit  $D < 20R$  und eine innere Länge (L) mit  $L < 2D$  besitzt.

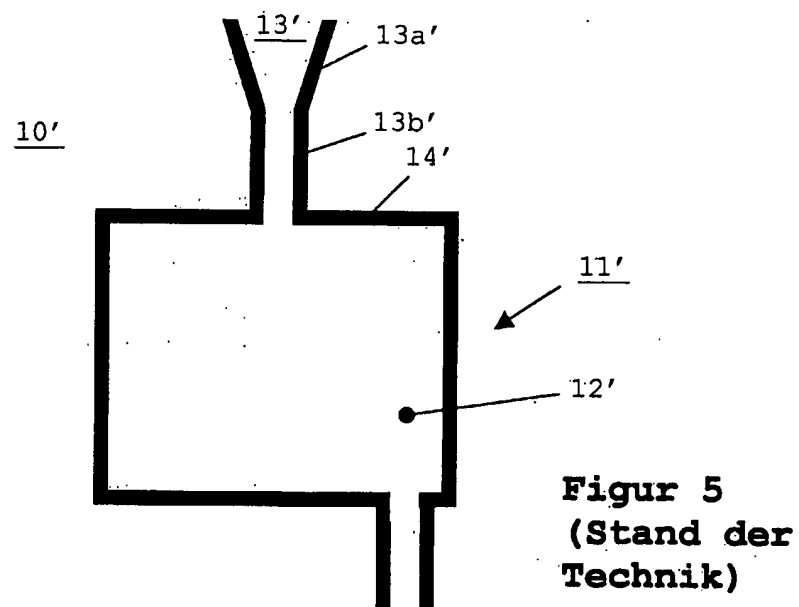
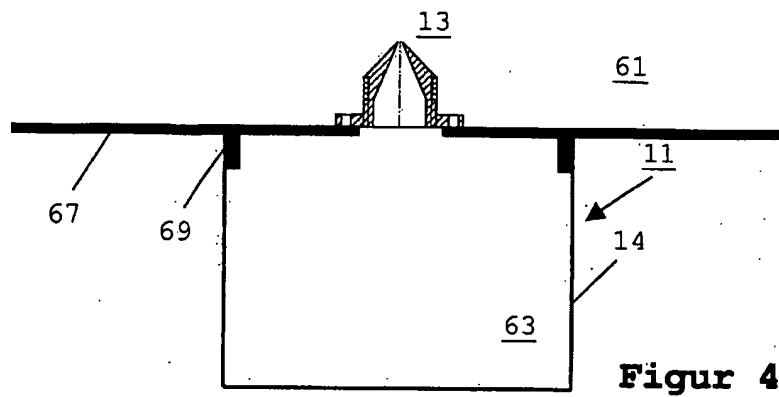
17. Verfahren gemäß Anspruch 16, bei dem eine Gasatmosphäre, die die Flüssigkeit vor dem Auffangen umgibt, beim Eintritt der Flüssigkeit in den Eintrittskanal (15) durch eine konische Außenform des Eintrittselements (13) umgelenkt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, bei dem das Eintrittselement (13) zumindest zu Beginn des Auffangens der Flüssigkeit geheizt wird.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 16 bis 18, bei dem die Flüssigkeit in der Flüssigkeitsfalle bei Raumtemperatur aufgefangen wird.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 16 bis 19, bei dem die Flüssigkeit nach einer Bestrahlung zur plasma-basierten Erzeugung von Röntgenstrahlung oder nach Abtrennung von einer zu analysierenden Substanz in einer massenspektrometrische Untersuchungseinrichtung aufgefangen wird.





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 03/10164

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H05G2/00 H01J49/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H05G H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 051 584 A (GRAY ALAN L ET AL) 24 September 1991 (1991-09-24) column 7 ---	1-5, 12, 14
X A	US 4 383 171 A (FRIEDLANDER SHELDON K ET AL) 10 May 1983 (1983-05-10) column 3, line 57 - column 4, line 4; figure 1 ---	1, 2, 5, 11-14 16
X	US 5 793 039 A (TSUKADA MASAMICHI ET AL) 11 August 1998 (1998-08-11) column 5, line 15 - line 39; figure 3 --- -/--	1, 7

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2003

Date of mailing of the international search report

18/12/2003

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Oestreich, S

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 03/10164

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MORGNER H ET AL: "Electron spectroscopy of liquid insulators. A MIES study of liquid alkanes on a conducting liquid substrate" JOURNAL OF ELECTRON SPECTROSCOPY AND RELATED PHENOMENA, 22 JAN. 1993, NETHERLANDS, vol. 61, no. 2, pages 183-192, XP009023018 ISSN: 0368-2048 cited in the application the whole document ---	1-20
A	US 5 459 771 A (RICHARDSON MARTIN ET AL) 17 October 1995 (1995-10-17) cited in the application the whole document -----	1-20

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/10164

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5051584	A	24-09-1991	CA 2045484 A1 DE 69000016 D1 EP 0407539 A1 WO 9009031 A1 JP 2516840 B2 JP 5500286 T KR 9409199 B1	31-07-1990 05-03-1992 16-01-1991 09-08-1990 24-07-1996 21-01-1993 01-10-1994
US 4383171	A	10-05-1983	NONE	
US 5793039	A	11-08-1998	JP 3355376 B2 JP 8236066 A	09-12-2002 13-09-1996
US 5459771	A	17-10-1995	US 5577091 A	19-11-1996

## INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Internationales Zeichen

PCT/EP 03/10164

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H05G2/00 H01J49/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H05G H01J

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 051 584 A (GRAY ALAN L ET AL) 24. September 1991 (1991-09-24) Spalte 7 ---	1-5,12, 14
X	US 4 383 171 A (FRIEDLANDER SHELDON K ET AL) 10. Mai 1983 (1983-05-10) Spalte 3, Zeile 57 - Spalte 4, Zeile 4; Abbildung 1 ---	1,2,5, 11-14 16
A		
X	US 5 793 039 A (TSUKADA MASAMICHI ET AL) 11. August 1998 (1998-08-11) Spalte 5, Zeile 15 - Zeile 39; Abbildung 3 --- -/--	1,7



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. Dezember 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

18/12/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Oestreich, S



## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	MORGNER H ET AL: "Electron spectroscopy of liquid insulators. A MIES study of liquid alkanes on a conducting liquid substrate" JOURNAL OF ELECTRON SPECTROSCOPY AND RELATED PHENOMENA, 22 JAN. 1993, NETHERLANDS, Bd. 61, Nr. 2, Seiten 183-192, XP009023018 ISSN: 0368-2048 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1-20
A	US 5 459 771 A (RICHARDSON MARTIN ET AL) 17. Oktober 1995 (1995-10-17) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-20

# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Patentzeichen

PCT/JP 03/10164

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5051584 A	24-09-1991	CA 2045484 A1 DE 69000016 D1 EP 0407539 A1 WO 9009031 A1 JP 2516840 B2 JP 5500286 T KR 9409199 B1	31-07-1990 05-03-1992 16-01-1991 09-08-1990 24-07-1996 21-01-1993 01-10-1994
US 4383171 A	10-05-1983	KEINE	
US 5793039 A	11-08-1998	JP 3355376 B2 JP 8236066 A	09-12-2002 13-09-1996
US 5459771 A	17-10-1995	US 5577091 A	19-11-1996